

25. 6. 2004

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

Rec'd PCT/PTO

14 MAR 2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 8月11日

REC'D 19 AUG 2004

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-291665  
[ST. 10/C]: [JP 2003-291665]

PCT

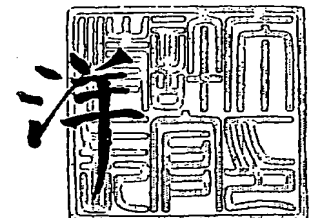
出 願 人  
Applicant(s): 株式会社村田製作所

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 T4476  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G02B 6/26  
【発明者】  
    【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田製作所内  
    【氏名】 田村 昌弥  
【発明者】  
    【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田製作所内  
    【氏名】 小林 真司  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000006231  
    【氏名又は名称】 株式会社村田製作所  
【代理人】  
    【識別番号】 100079441  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 広瀬 和彦  
    【電話番号】 (03)3342-8971  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 006862  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9004887

## 【書類名】特許請求の範囲

## 【請求項 1】

基板と、該基板に配置され一定の変位方向に変位可能となった可動体と、該可動体を支持するために前記基板に設けられた固定部と、該固定部と前記可動体との間に座屈可能に連結され前記可動体を前記変位方向に離間した 2 つの切換位置のうちいずれか一方の切換位置に支持する支持梁と、前記可動体の位置を前記各切換位置の間で切換える切換手段とからなる座屈型アクチュエータにおいて、

前記固定部と支持梁との連結部位及び前記可動体と支持梁との連結部位のうち少なくとも一方の連結部位は、互いに異なる方向に延びる 3 本以上の腕部からなり前記支持梁を前記基板と垂直な軸線を中心として回転可能に支持する回転支持部を構成したことを特徴とする座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 2】

前記回転支持部の各腕部は前記支持梁の端部を中心として略 T 字状に延びた 3 本の腕部である請求項 1 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 3】

前記回転支持部の各腕部は前記支持梁の端部を中心として放射状に配設してなる請求項 1 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 4】

前記固定部と支持梁との連結部位及び前記可動体と支持梁との連結部位の両方を前記回転支持部により構成し、該各回転支持部により前記支持梁の両端側を回転可能に支持する構成としてなる請求項 1, 2 または 3 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 5】

前記支持梁の長さ方向途中部位には端部側よりも高い剛性を有する剛性部を設けてなる請求項 1, 2, 3 または 4 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 6】

前記切換手段は静電力によって前記可動体を変位させる構成としてなる請求項 1, 2, 3, 4 または 5 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 7】

前記切換手段は磁力によって前記可動体を変位させる構成としてなる請求項 1, 2, 3, 4 または 5 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 8】

前記可動体、固定部、支持梁、回転支持部及び切換手段は単結晶のシリコン材料により構成してなる請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6 または 7 に記載の座屈型アクチュエータ。

## 【請求項 9】

前記可動体は前記基板に設けられた光路に対して前記切換位置に応じて進退することにより前記光路の切換を行う光スイッチを構成し、前記可動体を前記支持梁の弾性力によって前記各切換位置にそれぞれ保持する構成としてなる請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 または 8 に記載の座屈型アクチュエータ。

【書類名】明細書

【発明の名称】座屈型アクチュエータ

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば光スイッチ、光シャッタ等として好適に用いられ、支持梁が座屈することにより可動体を2つの切換位置の間で変位させる構成とした座屈型アクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、座屈型アクチュエータは、可動体の位置に応じて光路の切換を行う光スイッチ等に用いられている（例えば、特許文献1，2参照）。

【0003】

この種の従来技術による光スイッチは、基板と、該基板に配置され一定の変位方向に変位可能となった可動体と、該可動体を支持するために基板に設けられた固定部と、該固定部と前記可動体との間に連結され、可動体の変位方向に対して座屈（撓み変形）可能に形成された複数本の支持梁と、可動体の位置を静電力によって切換える切換機構とにより構成されている。

【0004】

そして、可動体は、その変位方向に延びる細長い棒状に形成され、可動体の幅方向両側に配置された各支持梁によって支持されている。また、可動体の端部側には光を反射するミラー部が設けられ、可動体は、このミラー部が光路に進入する第1の切換位置と、ミラー部が光路から後退する第2の切換位置との間で変位する。また、切換機構は、基板と可動体とにそれぞれ設けられた櫛歯状電極により構成され、これらの電極間に静電力を発生することにより、可動体を各切換位置の間で変位させて光路を切換えるものである。

【0005】

ここで、特許文献1に記載された従来技術では、例えば可動体が第1の切換位置にあるときに、各支持梁が略S字状をなす初期状態に保持され、可動体が第2の切換位置に変位するときには、各支持梁が座屈して初期状態と逆向きの略S字状となることにより、支持梁の弾性力（ばね力）を用いて可動体を各切換位置にそれぞれ保持している。

【0006】

この場合、支持梁のばね力等に応じて定まる可動体の位置エネルギーは、例えば支持梁が初期状態である第1の切換位置で零となり、可動体の変位する途中で支持梁が大きく撓み変形することにより最大値となる。また、支持梁が第2の切換位置で逆向きのS字状となったときには、そのばね力が逆向きに作用するため、可動体の位置エネルギーは最大値よりも減少する。従って、この最大値が第1，第2の切換位置の間で位置エネルギーの障壁となることにより、可動体を個々の切換位置に保持することができる。

【0007】

また、特許文献2に記載された従来技術では、可動体の変位するときに途中で支持梁の両端部間の距離が短くなるのを考慮して、支持梁が長さ方向に変位可能となるように構成している。この場合、支持梁は、可動体に設けられた細幅部等に連結され、この細幅部が可動体の幅方向に撓み変形することにより、支持梁が必要に応じて長さ方向に変位する構成となっている。

【0008】

【特許文献1】米国特許第6360033号

【特許文献2】米国特許第6303885号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところで、上述した特許文献1及び特許文献2のような従来技術では、可動体をより安定的に2つの切換位置に移動し、安定的に保持することが重要である。そのためには、位

置エネルギーの差（後述する本発明の実施の形態において、図 8 中に従来技術として示す位置エネルギーの障壁  $\Delta E'$ ）を大きくすることが必要となる。

【0010】

しかし、従来技術では、梁の支持部が完全拘束状態であるため、位置エネルギーの障壁  $\Delta E'$  を大きくする設計が難しい。障壁  $\Delta E'$  が小さいと、静電力を印加して、可動体を片方の切換位置に変位させても、可動体が反動で初期位置に戻ってしまったり、外力によって初期位置に動いてしまうという問題が発生する。

【0011】

位置エネルギーの障壁  $\Delta E'$  を大きくして可動体を安定的に駆動・保持するためには、支持梁の斜め角度を可動体の垂直方向に対してより鈍角にして、支持梁のばね力の正・負の領域をそれぞれ大きくすることになる。

【0012】

このため、従来技術では、櫛歯電極に印加する電圧を大きくしなければならないという問題がある。さらに、本来櫛歯の長手方向のみに加わる静電力が、印加電圧が大きくなることによって、加工ばらつき等により発生する静電力の非対称性の影響で、それと垂直な方向成分の静電力が可動体に加わってしまう。この結果、可動体の櫛歯電極が基板側の櫛歯電極に接触して、電極間の短絡を起こし、アクチュエータの作動不良を招くという問題がある。

【0013】

また、特許文献 1 の 1 実施例及び、特許文献 2 の従来技術では、支持梁が長さ方向、即ち可動体の幅方向に変位可能となっている。これは、梁の長手方向に加わる座屈荷重を緩和して、可動体を座屈位置に変位させるために必要な力を低減できるという利点がある。しかし、可動体の幅方向に動き易い構造であるため、逆に前述した櫛歯電極の接触という問題を起こし易い。

【0014】

しかも、従来技術では、可動体の変位する途中で支持梁が座屈するときに、この座屈による支持梁のばね力を逃すように、可動体の細幅部が幅方向に撓み変形する。この結果、可動体に加わるばね力が変位の途中で弱くなると、このばね力等に応じて定まる位置エネルギーの最大値（位置エネルギーの障壁）が小さくなる。

【0015】

このため、特許文献 1 及び特許文献 2 の従来技術では、可動体が位置エネルギーの障壁を超えて第 1、第 2 の切換位置の間で切換わり易くなるため、例えば外部から弱い衝撃等が加わるだけでも、可動体の位置が勝手に切換えられて光スイッチが誤動作する虞れが生じ、信頼性が低下するという問題がある。

【0016】

本発明は上述した従来技術の問題に鑑みなされたもので、本発明の目的は、可動体を一定の方向に安定的に変位させることができ、切換位置間のエネルギー障壁を大きく設定できると共に、短絡や誤動作等を防止して信頼性を向上できるようにした座屈型アクチュエータを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上述した課題を解決するために本発明は、基板と、該基板に配置され一定の変位方向に変位可能となった可動体と、該可動体を支持するために前記基板に設けられた固定部と、該固定部と前記可動体との間に座屈可能に連結され前記可動体を前記変位方向に離間した 2 つの切換位置のうちいずれか一方の切換位置に支持する支持梁と、前記可動体の位置を前記各切換位置の間で切換える切換手段とからなる座屈型アクチュエータに適用される。

【0018】

そして、請求項 1 の発明が採用する構成の特徴は、固定部と支持梁との連結部位及び可動体と支持梁との連結部位のうち少なくとも一方の連結部位は、互いに異なる方向に延びる 3 本以上の腕部からなり前記支持梁を基板と垂直な軸線を中心として回転可能に支持す

る回転支持部として構成したことにある。

【0019】

また、請求項2の発明によると、回転支持部の各腕部は支持梁の端部を中心として略T字状に延びた3本の腕部により構成している。

【0020】

また、請求項3の発明によると、回転支持部の各腕部は支持梁の端部を中心として放射状に配設する構成としている。

【0021】

また、請求項4の発明では、固定部と支持梁との連結部位及び可動体と支持梁との連結部位の両方を回転支持部により構成し、該各回転支持部により前記支持梁の両端側を回転可能に支持する構成としている。

【0022】

また、請求項5の発明によると、支持梁の長さ方向途中部位には端部側よりも高い剛性を有する剛性部を設ける構成としている。

【0023】

一方、請求項6の発明によると、切換手段は静電力によって可動体を変位させる構成としている。

【0024】

また、請求項7の発明によると、切換手段は磁力によって可動体を変位させる構成としている。

【0025】

また、請求項8の発明によると、可動体、固定部、支持梁、回転支持部及び切換手段は単結晶のシリコン材料により構成している。

【0026】

さらに、請求項9の発明によると、可動体は基板に設けられた光路に対して切換位置に応じて進退することにより前記光路の切換を行う光スイッチを構成し、前記可動体を支持梁の弾性力によって前記各切換位置にそれぞれ保持する構成としている。

【発明の効果】

【0027】

請求項1の発明によれば、固定部と支持梁との連結部位及び可動体と支持梁との連結部位のうち少なくとも一方の連結部位は、3本以上の腕部により支持梁を回転可能に支持する回転支持部を構成したので、可動体を変位するときには、回転支持部の各腕部が支持梁の端部を中心として回転方向に撓み変形でき、支持梁が一方の部材に対して大きく折曲がるように屈曲しなくても、これを回転支持部によって円滑に回転させることができる。

【0028】

従って、支持梁の端部側を大きく屈曲させずに済むので、支持梁に加わる屈曲時の反力を回転支持部によって軽減でき、各切換位置間の位置エネルギーの障壁を十分な大きさに設定することができる。これにより、例えば衝撃、振動等の外力によって可動体が各切換位置の間で勝手に切換わるのを確実に阻止でき、アクチュエータの誤動作等を防止して信頼性を向上させることができる。

【0029】

また、各腕部のうち少なくとも1本の腕部は、例えば可動体の変位方向と直交する方向等に延ばして形成でき、この腕部により支持梁を介して可動体の変位を所定の方角だけに規制することができる。これにより、可動体が所定の変位方向に対して側方に位置ずれするのを確実に防止でき、アクチュエータを安定的に作動させることができる。

【0030】

また、請求項2の発明によれば、回転支持部の各腕部を略T字状に延びた3本の腕部により構成したので、これらの腕部によって支持梁を回転可能に支持できると共に、例えば中央の腕部を可動体の変位方向に対して直交する方向等に延ばすことができる。そして、このような簡単な形状によって支持梁の回転動作と可動体の位置ずれ防止とを確実に行う

ことができ、可動体の支持構造を簡略化することができる。

【0031】

また、請求項3の発明によれば、回転支持部の各腕部は支持梁の端部を中心として放射状に配設する構成としたので、これらの腕部によって支持梁を回転可能に支持できると共に、例えば各腕部のいずれかを可動体の変位方向に対して直交する方向等に延ばすことができる。これにより、必要に応じた本数の腕部を放射状に配置でき、回転支持部に十分な強度を与えることができる。そして、これらの腕部により支持梁を安定的に支持でき、支持梁をスムーズに回転させることができる。

【0032】

また、請求項4の発明によれば、固定部と支持梁との連結部位及び可動体と支持梁との連結部位の両方を回転支持部により構成したので、支持梁の両端側をそれぞれの回転支持部によって回転可能に支持でき、これらの部位で支持梁が固定部や可動体に対して大きく折曲がるように屈曲しなくても、可動体を変位させることができる。これにより、可動体を変位するときには、支持梁から可動体に加わる屈曲時の反力を2箇所の回転支持部によって軽減でき、可動体の各切換位置の間における位置エネルギーの障壁をより大きく設定できると共に、アクチュエータを安定的に切換えることができる。

【0033】

また、請求項5の発明によれば、支持梁の長さ方向途中部位には剛性部を設ける構成としたので、可動体を個々の切換位置に、より安定して保持することができる。この場合、支持梁の途中部位を剛性部によって撓み難くすることができるので、可動体を変位するときに支持梁の動作を安定させることができる。そして、この撓み難い支持梁により可動体の各切換位置の間における位置エネルギーの障壁を大きく設定でき、アクチュエータの切換動作を安定させることができる。

【0034】

また、請求項6の発明によれば、切換手段は静電力によって可動体を変位させる構成としたので、例えば固定側の電極と可動側の電極との間に静電力を発生でき、簡単な構造によって可動体の位置を切換えることができる。

【0035】

また、請求項7の発明によれば、切換手段は磁力によって可動体を変位させる構成としたので、例えば磁性材料等により可動体を形成し、この可動体を電磁石等により磁界の方向に応じて変位させることができる。これにより、例えば可動体側には電極等の給電部位を設ける必要がなくなり、アクチュエータの構造を簡略化することができる。

【0036】

また、請求項8の発明によれば、可動体、固定部、支持梁、回転支持部及び切換手段は単結晶のシリコン材料により構成したので、例えば可動体、固定部、支持梁等の微細構造物をエッチング加工等により一緒の工程で効率よく形成でき、その加工精度を高めることができる。

【0037】

さらに、請求項9の発明によれば、可動体は光スイッチを構成し、支持梁の弾性力によって可動体を各切換位置に保持する構成としたので、光スイッチは、可動体を2つの切換位置の間で変位させることにより、光路を切換えることができる。そして、回転支持部により各切換位置間の位置エネルギーの障壁を十分な大きさに設定できるので、切換手段を停止した状態でも、支持梁の弾性力によって可動体を所望の切換位置に保持でき、光スイッチが外力等により勝手に切換わるのを確実に防止できると共に、信頼性を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

以下、本発明の実施の形態による座屈型アクチュエータを、添付図面を参照して詳細に説明する。

【0039】

ここで、図1ないし図8は第1の実施の形態を示し、本実施の形態では、座屈型アクチュエータを光スイッチに適用した場合を例に挙げて述べる。

【0040】

図中、1は光スイッチ、2は該光スイッチ1のベースとなる基板で、該基板2は、例えばガラス板等により数ミリ程度の大きさの四角形状に形成され、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸のうち、例えばX軸とY軸とに沿って水平方向に延びている。

【0041】

また、基板2の表面側には、例えば低抵抗な単結晶シリコン材料等にエッチング加工を施すことにより、後述の可動体4、ミラー部5、固定部6、支持梁7、回転支持部8と、光スイッチ1の切換手段を構成する後述の電極12、13、14、15とが形成されている。

【0042】

3は可動体4等と一緒に基板2上に設けられた光学装置で、該光学装置3は、光ビームを発射する発光部3A、3Bと、この光ビームを受光する受光部3C、3Dとからなり、これらには光ファイバ（図示せず）等がそれぞれ接続されている。そして、光スイッチ1は、可動体4の切換位置に応じて発光部3A、3Bと受光部3C、3Dとの間で光ビームの入出力を行う光路を切換えるものである。

【0043】

4は基板2上に設けられた可動体で、該可動体4は、図1、図2に示す如く、例えば細長い棒状体からなり、Y軸方向に沿って直線状に延びている。また、可動体4は、基板2に各固定部6、支持梁7及び回転支持部8を介してY軸方向に変位可能に支持され、この状態で可動体4、ミラー部5、支持梁7及び回転支持部8は、基板2に対して垂直な方向（Z軸方向）に離間している。

【0044】

そして、可動体4は、後述の電極12、13または電極14、15のいずれかによって駆動されることにより、Y軸方向の一侧（矢示A方向）または他側（矢示B方向）に向けて変位する。これにより、可動体4の位置は、後述のミラー部5が光路に進入する第1の切換位置（図1参照）と、ミラー部5が光路から後退する第2の切換位置（図5参照）との間で切換えられるものである。

【0045】

5は可動体4の端部側に設けられたミラー部で、該ミラー部5は、例えばメッキ、蒸着、スパッタ等の手段を用いて可動体4の側面に金属膜を形成することにより鏡面仕上げされ、光学装置3の光路に対して進退可能に配置されている。

【0046】

そして、可動体4が第1の切換位置にあるときには、光ビームがミラー部5によって反射されることにより、光学装置3の発光部3Aと受光部3Cとの間、及び発光部3Bと受光部3Dとの間でそれぞれ入出力される。また、可動体4が第2の切換位置にあるときには、発光部3Aと受光部3Dとの間、及び発光部3Bと受光部3Cとの間で光ビームがそれぞれ入出力され、光路が切換わる。

【0047】

6は可動体4を支持するために基板2に設けられた例えば4個の固定部で、該各固定部6は、可動体4を挟んで左、右方向（X軸方向）の両側に2個ずつ配置され、前、後方向（Y軸方向）に間隔をもって配置されている。

【0048】

ここで、固定部6は、図3、図4に示す如く、基板2上に突出する略コ字状の突起物として形成され、その内側には、可動体4に面して開口する四角形状の凹窪部6Aが設けられている。また、各固定部6には、可動体4を介して可動電極13、15に給電するための配線（図示せず）等が接続されている。

【0049】

7は各固定部6と可動体4との間にそれぞれ設けられた例えば4本の支持梁で、該各支



持梁 7 は、図 1、図 5 に示す如く、可動体 4 の変位方向に対して直交しない方向（例えば、X 軸方向と Y 軸方向とにわたる斜め方向）に延びている。そして、各支持梁 7 は、可動体 4 を挟んで X 軸方向の両側に 2 本ずつ配置され、Y 軸方向に間隔をもって配置されると共に、これら前、後、左、右の 4 箇所可動体 4 を Y 軸方向に変位可能に支持している。

#### 【0050】

また、支持梁 7 は、その基端側に位置する端部 7 A が後述の回転支持部 8 を介して固定部 6 に連結され、その先端側に位置する端部 7 B が可動体 4 に連結されている。そして、支持梁 7 は、可動体 4 と固定部 6 との間で座屈（撓み変形）可能に形成され、その端部 7 A、7 B は、可動体 4 や固定部 6（回転支持部 8）に対して Y 軸方向に屈曲可能となっている。

#### 【0051】

ここで、可動体 4 が第 1 の切換位置にある状態では、図 1 に示す如く、支持梁 7 が第 1 の切換位置側（矢示 A 方向）に斜めに延びた状態に保持され、このときに支持梁 7 は、その撓み変形や端部 7 A、7 B の屈曲等が生じていない初期状態となっている。また、可動体 4 が第 2 の切換位置に変位したときには、図 5 に示す如く、各支持梁 7 は、端部 7 A、7 B が屈曲することにより、第 2 の切換位置側（矢示 B 方向）に向けて斜めに延びた状態となる。

#### 【0052】

この場合、支持梁 7 から可動体 4 に加わる弾性力（ばね力）は、後述の図 7 に示す如く、可動体 4 が第 1 の切換位置から第 2 の切換位置に向けて変位するときに、その途中位置までは可動体 4 を第 1 の切換位置に戻す方向（矢示 A 方向）に付勢し、可動体 4 が第 2 の切換位置の近傍に達すると、これを第 2 の切換位置に向けて付勢する方向（矢示 B 方向）に変化する。

#### 【0053】

これにより、支持梁 7 は、可動体 4 が第 1、第 2 の切換位置のいずれにある場合でも、そのばね力によって可動体 4 を個々の切換位置に保持でき、光スイッチ 1 は、電極 12～15 等への給電を停止した状態でも、可動体 4 を所望の切換位置に保持できる自己保持型の光スイッチとして構成されている。

#### 【0054】

8 は各固定部 6 の凹窪部 6 A と支持梁 7 の端部 7 A との間にそれぞれ設けられた例えば 4 個の回転支持部を示し、該各回転支持部 8 は、図 3、図 4 に示す如く、例えば 3 本の撓み変形可能な腕部 9、10、11 からなり、固定部 6 と支持梁 7 との連結部位を構成している。そして、これらの腕部 9、10、11 は全体として略 T 字状に形成され、固定部 6 の凹窪部 6 A と支持梁 7 の端部 7 A との間に連結されると共に、Z 軸方向に延びる軸線 O-O（軸心 O）を中心として支持梁 7 を回転可能に支持するものである。

#### 【0055】

ここで、腕部 9～11 は、支持梁 7 の端部 7 A から互いに異なる方向に延びて形成され、端部 7 A に位置する軸心 O を中心として放射状に配置されている。そして、腕部 9～11 のうち図 3 中で支持梁 7 の前、後に位置する 2 本の腕部 9、11 は、Y 軸方向に沿って直線状に延びている。

#### 【0056】

また、左側に位置する腕部 10 は、可動体 4 の変位方向と直交する X 軸方向に直線状に延びて形成され、支持梁 7 を介して可動体 4 の変位を Y 軸方向だけに規制している。これにより、可動体 4 とミラー部 5 とは、腕部 10 の規制によって X 軸方向（可動体 4 の幅方向）に位置ずれし難くなり、Y 軸方向に安定的に変位することができる。

#### 【0057】

そして、可動体 4 が第 1 の切換位置にあるときには、図 3 に示す如く、腕部 9～11 が撓み変形していない初期状態に保持されている。また、可動体 4 が第 2 の切換位置に向けて変位するときに、回転支持部 8 は、図 6 に示す如く、支持梁 7 の端部 7 A が回転支持部 8 に対して矢示 B 方向に屈曲するのに伴って腕部 9～11 が弓形状に撓み変形することに

より、端部 7A が大きく屈曲しなくても、支持梁 7 を軸心 O の周囲で回転させることができる。

【0058】

これにより、回転支持部 8 は、後述の如く支持梁 7 の端部 7A が屈曲するときに固定部 6 側から受ける反力（回転拘束力）を軽減することにより、可動体 4 を第 2 の切換位置に安定的に保持するものである。

【0059】

一方、12 は可動体 4 の左、右両側に位置して基板 2 に設けられた第 1 の固定電極、13 は該各固定電極 12 に対向して可動体 4 に設けられた第 1 の可動電極で、これらの固定電極 12 と可動電極 13 とは、それぞれ櫛歯状に形成され互いに隙間をもって噛合する複数本の電極板 12A, 13A を有している。

【0060】

そして、第 1 の電極 12, 13 は、外部から給電されて各電極板 12A, 13A の間に Y 軸方向（矢示 A 方向）の静電力を発生させることにより、可動体 4 を第 1 の切換位置に変位させる。

【0061】

14 は基板 2 の左、右両側に設けられた第 2 の固定電極、15 は該各固定電極 14 に対向して可動体 4 に設けられた第 2 の可動電極で、これらの固定電極 14 と可動電極 15 とは、第 1 の電極 12, 13 とほぼ同様に、互いに噛合する複数の電極板 14A, 15A を有しているものの、Y 軸方向に対して電極 12, 13 と逆向きに配置されている。そして、第 2 の電極 14, 15 は、各電極板 14A, 15A 間の静電力により可動体 4 を第 2 の切換位置に変位させるものである。

【0062】

次に、図 7 及び図 8 を参照しつつ、可動体 4 の変位量、位置エネルギー、支持梁 7 のばね力等の関係について説明する。これらの図中において、可動体 4 の変位量と位置エネルギーとは第 1 の切換位置を基準（零）とし、支持梁 7 のばね力は図 1 中の矢示 A 方向を正、矢示 B 方向を負としている。

【0063】

まず、可動体 4 が第 1 の切換位置から第 2 の切換位置へと変位するときには、最初に支持梁 7 が矢示 A 方向に傾斜した状態で座屈し、その後に矢示 B 方向に傾斜した状態となる。このため、支持梁 7 のばね力は、図 7 に示す如く、最初に可動体 4 に対して正方向に加わり、変位の途中位置から負の方向に加わるようになり、第 2 の切換位置で最小となる（矢示 B 方向に対して最大となる）。

【0064】

このとき、可動体 4 の位置エネルギーは、図 8 に示す如く、ばね力と共に増大して変位の途中位置で最大値  $E_{\max}$  となった後に、ばね力が小さくなるに従って減少し、第 2 の切換位置では、最大値  $E_{\max}$  よりも小さな極小値  $E_{\min}$  となる。

【0065】

このように、第 1, 第 2 の切換位置の間には、下記数 1 の式に示すように最大値  $E_{\max}$  と極小値  $E_{\min}$  との差である位置エネルギーの障壁  $\Delta E$  が存在し、可動体 4 は、電極 12, 13 間の静電力により支持梁 7 のばね力に抗して障壁  $\Delta E$  を超えない限り、第 1 の切換位置に戻ることがないため、可動体 4 を第 2 の切換位置に安定的に保持することができる。

【0066】

【数 1】

$$\Delta E = E_{\max} - E_{\min}$$

【0067】

一方、可動体 4 が第 1 の切換位置から第 2 の切換位置へと変位するときに、支持梁 7 の端部 7A は矢示 B 方向へと折曲がるように屈曲する。このとき、回転支持部 8 は、端部 7A を回転させることができるので、端部 7A が屈曲することにより受ける反力（回転拘束力）を軽減することができる。

## 【0068】

これにより、本実施の形態では、例えば図7中に仮想線で示す従来技術と比較して、可動体4が変位するときに支持梁7のばね力が負となる領域を広げることができる。この結果、位置エネルギーの障壁 $\Delta E$ を、例えば図8中に仮想線で示す従来技術の障壁 $\Delta E'$ と比較して、十分に大きくすることができ、可動体4を第2の切換位置に安定的に保持することができる。

## 【0069】

本実施の形態による光スイッチ1は上述の如き構成を有するもので、次にその作動について説明する。

## 【0070】

まず、可動体4が第1の切換位置あるときに、第2の固定電極14と可動電極15との間に直流電圧を印加すると、これらの間にY軸方向の静電力が発生し、可動体4は、この静電力により支持梁7のばね力に抗して矢示B方向に変位する。そして、可動体4がある程度変位し、支持梁7のばね力が矢示B方向に変化すると、可動体4は、位置エネルギーの障壁 $\Delta E$ を超えて第2の切換位置に達する。

## 【0071】

これにより、可動体4は、支持梁7のばね力によって第2の切換位置に押付けられた状態となる。この場合、第1、第2の切換位置の間には、支持梁7と回転支持部8とによって大きな位置エネルギーの障壁 $\Delta E$ が設けられているため、電極14、15への給電を停止しても、衝撃等の外力に対して可動体4を第2の切換位置に安定的に保持でき、光学装置3の光路を円滑に切換えることができる。

## 【0072】

また、可動体4が第2の切換位置あるときに、第1の固定電極12と可動電極13との間に直流電圧を印加すると、可動体4は、これらの電極12、13間に発生する静電力により支持梁7のばね力に抗して矢示A方向に変位し、位置エネルギーの障壁 $\Delta E$ を超えて第1の切換位置に復帰する。

## 【0073】

これにより、可動体4は、支持梁7のばね力による位置エネルギーが最も低い初期状態となり、矢示B方向に少しでも変位すると、支持梁7から戻し方向のばね力を受けるようになるため、電極12、13への給電を停止しても、可動体4を第1の切換位置に安定的に保持することができる。

## 【0074】

そして、これらの切換動作において、可動体4、ミラー部5、可動電極13、15等の部材は、回転支持部8の腕部10によりX軸方向への変位（位置ずれ）を規制されているため、例えば振動等が基板2に加わる場合でも、これらの部材をY軸方向に対して安定的に変位させることができる。

## 【0075】

かくして、本実施の形態によれば、各固定部6と支持梁7との連結部位を、支持梁7の端部7Aを回転可能に支持する回転支持部8により構成したので、可動体4が変位するときには、支持梁7の端部7A等が大きく屈曲しなくても、支持梁7を軸線O-Oの周囲で円滑に回転させることができる。

## 【0076】

これにより、支持梁7の屈曲動作を回転支持部8によって補償でき、端部7Aを大きく屈曲させずに済むので、支持梁7に加わる屈曲時の反力（回転拘束力）を軽減することができる。この結果、第2の切換位置側で支持梁7のばね力が負となる領域を広げることができ、各切換位置の間における位置エネルギーの障壁 $\Delta E$ を十分な大きさに設定することができる。

## 【0077】

従って、電極12～15への給電を停止した状態でも、支持梁7のばね力によって可動体4を所望の切換位置に安定的に保持でき、例えば衝撃、振動等の外力によって可動体4

が各切換位置の間で勝手に切換わるのを確実に阻止できると共に、光スイッチ 1 の誤動作等を防止して信頼性を向上させることができる。

**【0078】**

また、例えば腕部 10 を可動体 4 の変位方向と直交する X 軸方向に延ばして形成できるので、可動体 4 を各切換位置の間で駆動するときには、可動体 4 やミラー部 5 が X 軸方向に位置ずれしたり、可動電極 13, 15 が固定電極 12, 14 に接触するのを腕部 10 によって確実に防止でき、光スイッチ 1 を安定的に作動させることができる。

**【0079】**

この場合、回転支持部 8 を 3 本の腕部 9, 10, 11 により T 字状に形成したので、このような簡単な形状によって支持梁 7 の回転動作と可動体 4 の位置ずれ防止とを確実に行うことができ、その支持構造を簡略化することができる。

**【0080】**

一方、可動体 4 の位置を静電力によって切換えるようにしたので、例えば可動体 4 と同様の材料を用いて櫛歯状の電極 12, 13, 14, 15 を形成するだけで、これらの電極間に静電力を発生して可動体 4 を変位させることができ、可動体 4 を簡単な構造で駆動することができる。

**【0081】**

そして、可動体 4、固定部 6、支持梁 7、回転支持部 8、電極 12, 13, 14, 15 を単結晶のシリコン材料により形成したので、これらの微細構造物を一緒の工程で効率よく形成でき、その加工精度を高めることができる。

**【0082】**

次に、図 9 は本発明による第 2 の実施の形態を示し、本実施の形態の特徴は、回転支持部を放射状に配置した 4 本以上の腕部により構成したことにある。なお、本実施の形態では前記第 1 の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

**【0083】**

21 は光スイッチで、該光スイッチ 21 は、第 1 の実施の形態とほぼ同様に、基板 2、可動体 4、支持梁 7、電極（図示せず）と、後述の固定部 22、回転支持部 23 とを含んで構成されている。

**【0084】**

22 は可動体 4 を支持するために基板 2 上に突設された例えば 4 個の固定部（1 個のみ図示）で、該各固定部 22 には、第 1 の実施の形態とほぼ同様に、可動体 4 に面して開口する半円状の凹窪部 22A が設けられている。

**【0085】**

23 は各固定部 22 の凹窪部 22A と支持梁 7 の端部 7A との間にそれぞれ設けられた回転支持部を示し、該各回転支持部 23 は、第 1 の実施の形態とほぼ同様に、固定部 22 と支持梁 7 との連結部位を構成しており、Z 軸方向に延びる軸線 O-O（軸心 O）を中心として支持梁 7 を回転可能に支持するものである。

**【0086】**

しかし、回転支持部 23 は、例えば 4 本以上（図中には 5 本の場合を例示）の撓み変形可能な腕部 24, 25, 26, 27, 28 により構成されている。そして、これらの腕部 24~28 は、支持梁 7 の端部 7A から互いに異なる方向に延びて形成され、端部 7A に位置する軸心 O を中心として放射状に配置されると共に、固定部 6 の凹窪部 6A と支持梁 7 の端部 7A との間に連結されている。

**【0087】**

また、腕部 24~28 のうち図 9 中で支持梁 7 の前、後に位置する 2 本の腕部 24, 28 は、Y 軸方向に沿って直線状に延びている。また、左側に位置する腕部 26 は、可動体 4 の変位方向と直交する X 軸方向に直線状に延びて形成され、腕部 25, 27 は X 軸方向に対して斜めに延びると共に、これらの腕部 25, 26, 27 は可動体 4 と支持梁 7 とが X 軸方向に変位するのを規制している。

## 【0088】

そして、可動体4が第1の切換位置から第2の切換位置へと変位するときに、回転支持部23は、第1の実施の形態とほぼ同様に、腕部24～28が弓形状に撓み変形することにより、支持梁7の端部7Aを大きく屈曲させることなく、支持梁7を軸心Oの周囲で回転させるものである。

## 【0089】

かくして、このように構成される本実施の形態でも、第1の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。特に、本実施の形態では、回転支持部23を放射状に配置した腕部24, 25, 26, 27, 28によって構成したので、必要に応じた本数の腕部24～28を軸心Oの周囲に放射状に配置でき、回転支持部23に十分な強度をもたせることができる。そして、これらの腕部24～28により支持梁7を安定的に支持でき、軸心Oを中心として支持梁7をスムーズに回転させることができる。

## 【0090】

次に、図10及び図11は本発明による第3の実施の形態を示し、本実施の形態の特徴は、回転支持部を固定部と可動体の両方に設け、支持梁の両端側を回転可能に支持する構成としたことにある。なお、本実施の形態では前記第1の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

## 【0091】

31は光スイッチで、該光スイッチ31は、第1の実施の形態とほぼ同様に、基板2、固定部6、支持梁7、電極12～15と、後述の可動体32とを有している。しかし、各支持梁7の両端側には、回転支持部33, 37がそれぞれ配置されている。

## 【0092】

32は基板2に設けられた棒状の可動体で、該可動体32は、第1の実施の形態とほぼ同様に、その端部側にミラー部5が設けられ、基板2に各固定部6、支持梁7及び回転支持部33, 37を介してY軸方向に変位可能に支持されている。また、可動体32は、各支持梁7を連結する4箇所部位が第1の実施の形態と比較してX軸方向に太幅に形成され、これらの部位には、凹窪部32Aがそれぞれ設けられている。

## 【0093】

33は各固定部6の凹窪部6Aと支持梁7の端部7Aとの間にそれぞれ設けられた例えば4個の基板側回転支持部を示し、該各基板側回転支持部33は、第1の実施の形態による回転支持部8とほぼ同様に、固定部6と支持梁7との連結部位を構成している。そして、基板側回転支持部33は、例えば3本の撓み変形可能な腕部34, 35, 36により全体として略T字状に形成され、これらの腕部34, 35, 36は、軸線O-O' (軸心O)を中心として支持梁7の端部7A側を回転可能に支持するものである。

## 【0094】

37は可動体32の各凹窪部32Aと支持梁7の端部7Bとの間にそれぞれ設けられた例えば4個の可動体側回転支持部を示し、該各可動体側回転支持部37は、図11に示す如く、基板側回転支持部33とほぼ同様に、例えば3本の撓み変形可能な腕部38, 39, 40により略T字状に形成されている。そして、可動体側回転支持部37は、可動体32と支持梁7との連結部位を構成しており、Z軸方向に延びる軸線(軸心O')を中心として支持梁7の端部7B側を回転可能に支持している。

## 【0095】

ここで、腕部38, 39, 40は、支持梁7の端部7Bから互いに異なる方向に延びて形成され、端部7Bに位置する軸心O'を中心として放射状に配置されると共に、可動体32の凹窪部32Aと支持梁7の端部7Bとの間に連結されている。また、腕部38～40のうち図11中の左側に位置する腕部39は、X軸方向に直線状に延びて形成され、可動体32と支持梁7とがX軸方向に変位するのを規制している。

## 【0096】

そして、可動体4が第1の切換位置から第2の切換位置へと変位するときには、基板側回転支持部33の腕部34～36が支持梁7の端部7Aを軸心Oの周囲で回転させると共

に、可動体側回転支持部 37 の腕部 38 ~ 40 が支持梁 7 の端部 7B を軸心 O' の周囲で回転させることにより、これらの端部 7A, 7B が屈曲時に受ける反力を軽減するものである。

#### 【0097】

かくして、このように構成される本実施の形態でも、第 1 の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。特に、本実施の形態では、固定部 6 と支持梁 7 との連結部位を基板側回転支持部 33 により構成し、可動体 32 と支持梁 7 との連結部位を可動体側回転支持部 37 により構成したので、支持梁 7 の端部 7A, 7B をそれぞれの回転支持部 33, 37 によって回転可能に支持することができる。

#### 【0098】

これにより、支持梁 7 から可動体 32 に加わる屈曲時の反力（回転拘束力）をより軽減できるので、第 1, 第 2 の切換位置の間で位置エネルギーの障壁  $\Delta E$  をさらに大きく設定でき、光スイッチ 31 の切換動作を安定させることができる。

#### 【0099】

次に、図 12 は本発明による第 4 の実施の形態を示し、本実施の形態の特徴は、支持梁の長さ方向途中部位に剛性部を設ける構成としたことにある。なお、本実施の形態では前記第 1 の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

#### 【0100】

41 は光スイッチで、該光スイッチ 41 は、第 1 の実施の形態とほぼ同様に、基板 2、可動体 4、固定部 6、回転支持部 8、電極（図示せず）と、後述の支持梁 42 とを含んで構成されている。

#### 【0101】

42 は各固定部 6 と可動体 4 との間にそれぞれ設けられた例えば 4 本の支持梁（2 本のみ図示）で、該各支持梁 42 は、第 1 の実施の形態とほぼ同様に、例えば X 軸方向と Y 軸方向とにわたり斜めに延びて形成され、可動体 4 を Y 軸方向に変位可能に支持している。そして、支持梁 42 は、その基端側に位置する端部 42A が回転支持部 8 を介して固定部 6 に連結され、その先端側に位置する端部 42B が可動体 4 に連結されている。

#### 【0102】

しかし、支持梁 42 の長さ中間部位には、例えば端部 42A, 42B 寄りの部位よりも太幅に形成された剛性部 42C が設けられ、この剛性部 42C は、他の部位よりも撓み変形し難いように高い剛性を有している。

#### 【0103】

かくして、このように構成される本実施の形態でも、第 1 の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。特に、本実施の形態では、支持梁 42 の長さ中間部位に太幅な剛性部 42C を設ける構成としたので、この剛性部 42C により支持梁 42 を簡単に撓み難い構造とすることができ、これによって第 1, 第 2 の切換位置の間で位置エネルギーの障壁  $\Delta E$  を大きく設定できると共に、光スイッチ 31 の切換動作を安定させることができる。

#### 【0104】

次に、図 13 は本発明による第 5 の実施の形態を示し、本実施の形態の特徴は、可動体の位置を磁力によって切換える構成としたことにある。なお、本実施の形態では前記第 1 の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

#### 【0105】

51 は光スイッチで、該光スイッチ 51 は、第 1 の実施の形態とほぼ同様に、基板 2、可動体 4'、固定部 6、支持梁 7、回転支持部 8 とを含んで構成されている。しかし、可動体 4' は磁性材料により形成され、第 1 の実施の形態で用いた静電力発生用の電極 12 ~ 15 は廃止されている。

#### 【0106】

52 は可動体 4' の端部側に位置して基板 2 に設けられた切換手段としての電磁石で、

該電磁石 52 は、外部から給電されることによって電流の極性等に応じた磁力（磁界）を発生し、この磁力によって可動体 4' を変位させる。

【0107】

この場合、電磁石 52 は、例えば一定の方向の電流を給電されたときに、可動体 4' と反発する方向の磁界を発生し、可動体 4' を第 1 の切換位置に変位させると共に、これと逆方向の電流を給電されたときには、可動体 4' を磁氣的に吸引して第 2 の切換位置に変位させるものである。

【0108】

かくして、このように構成される本実施の形態でも、第 1 の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。特に、本実施の形態では、可動体 4' を電磁石 52 により切換える構成としたので、可動体 4 側には電極等の給電部位を設ける必要がなくなり、光スイッチ 51 の構造を簡略化することができる。

【0109】

なお、前記各実施の形態において、第 1 の実施の形態では、可動体 4 と固定部 6 のうち固定部 6 側に回転支持部 8 を設ける構成とし、第 3 の実施の形態では、固定部 6 と可動体 32 の両方に回転支持部 33, 37 を設ける構成とした。しかし、本発明はこれに限らず、例えば固定部側の回転支持部を省略し、可動体側だけに回転支持部を設ける構成としてもよい。

【0110】

また、実施の形態では、3 本または 5 本の腕部を有する回転支持部を例に挙げて説明した。しかし、本発明はこれに限らず、例えば 4 本の腕部、または 6 本以上の腕部を有する回転支持部を用いる構成としてもよい。

【0111】

また、本発明は、第 2 ないし第 5 の実施の形態のうちいずれか 2 つ以上の実施の形態を自由に組合せる構成としてよいものであり、例えば第 2 の実施の形態で用いた回転支持部 23 を支持梁の両端側に設け、この支持梁の途中に剛性部を設ける構成としたり、さらに可動体を磁力によって変位させる構成としてもよい。

【0112】

また、実施の形態では、切換手段として静電力または磁力を用いる構成としたが、本発明はこれに限らず、例えば圧電力を用いる構成としてもよい。

【0113】

また、実施の形態では、座屈型アクチュエータを光スイッチに適用する場合を例に挙げて説明した。しかし、本発明はこれに限らず、可動体を 2 つの安定した切換位置に保持する機構を有する各種の座屈型アクチュエータ、及びこのような座屈型アクチュエータを利用したデバイス全てに適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0114】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態による光スイッチを示す正面図である。

【図 2】 図 1 中の矢示 II-II 方向からみた光スイッチの断面図である。

【図 3】 図 1 中の固定部、支持梁、回転支持部等を示す要部拡大図である。

【図 4】 図 3 中の矢示 IV-IV 方向からみた要部拡大断面図である。

【図 5】 可動体、ミラー部等を第 2 の切換位置に切換えた状態を示す光スイッチの正面図である。

【図 6】 図 5 中の固定部、支持梁、回転支持部等を示す要部拡大図である。

【図 7】 可動体の変位量と支持梁のばね力との関係を示す特性線図である。

【図 8】 可動体の変位量と位置エネルギーとの関係を示す特性線図である。

【図 9】 本発明の第 2 の実施の形態による光スイッチを図 3 と同様位置からみた要部拡大図である。

【図 10】 本発明の第 3 の実施の形態による光スイッチを示す正面図である。

【図 11】 図 10 中の固定部、支持梁、各回転支持部等を示す要部拡大図である。

【図 1 2】本発明の第 4 の実施の形態による光スイッチを示す要部拡大図である。

【図 1 3】本発明の第 5 の実施の形態による光スイッチを示す要部拡大図である。

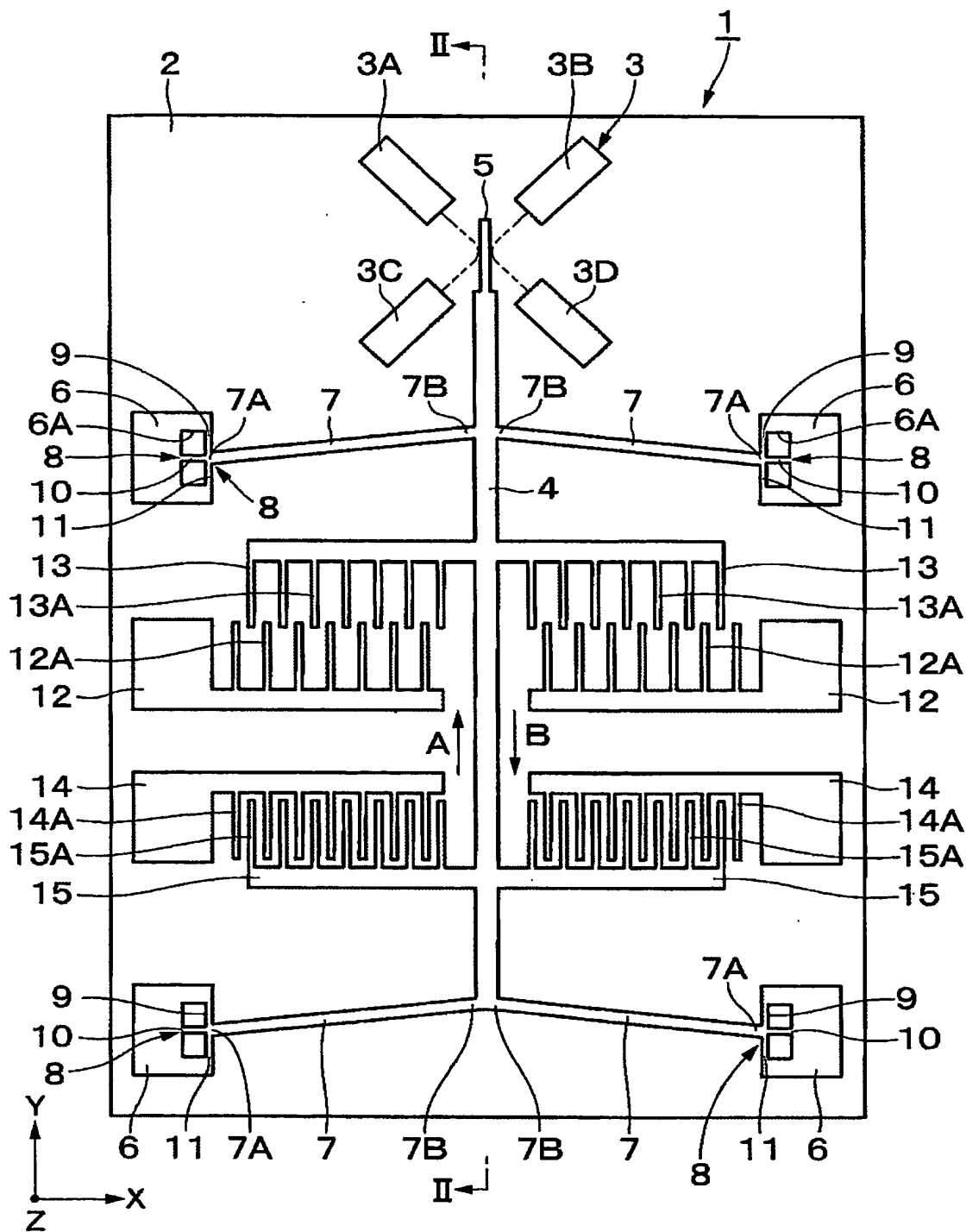
【符号の説明】

【0115】

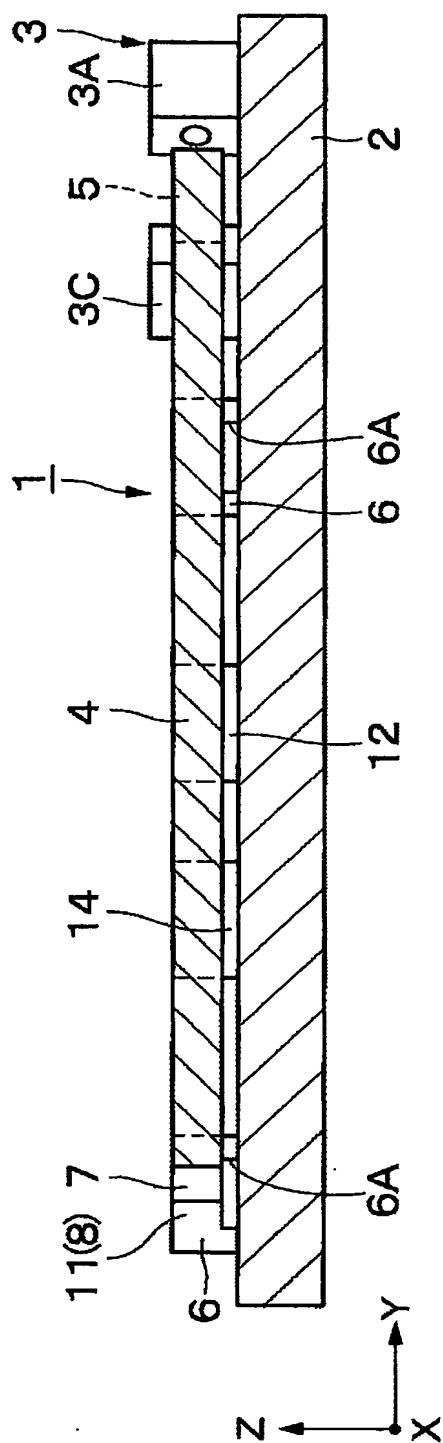
- 1, 21, 31, 41, 51 光スイッチ
- 2 基板
- 3 光学装置
- 3A, 3B 発光部
- 3C, 3D 受光部
- 4, 4', 32 可動体
- 5 ミラー部
- 6, 22 固定部
- 6A, 22A, 32A 凹窪部
- 7, 42 支持梁
- 7A, 7B, 42A, 42B 端部
- 8, 23, 33, 37 回転支持部
- 9~11, 24~28, 34~36, 38~40 腕部
- 12~15 電極 (切換手段)
- 12A, 13A, 14A, 15A 電極板
- 42C 剛性部
- 52 電磁石 (切換手段)
- O-O 軸線



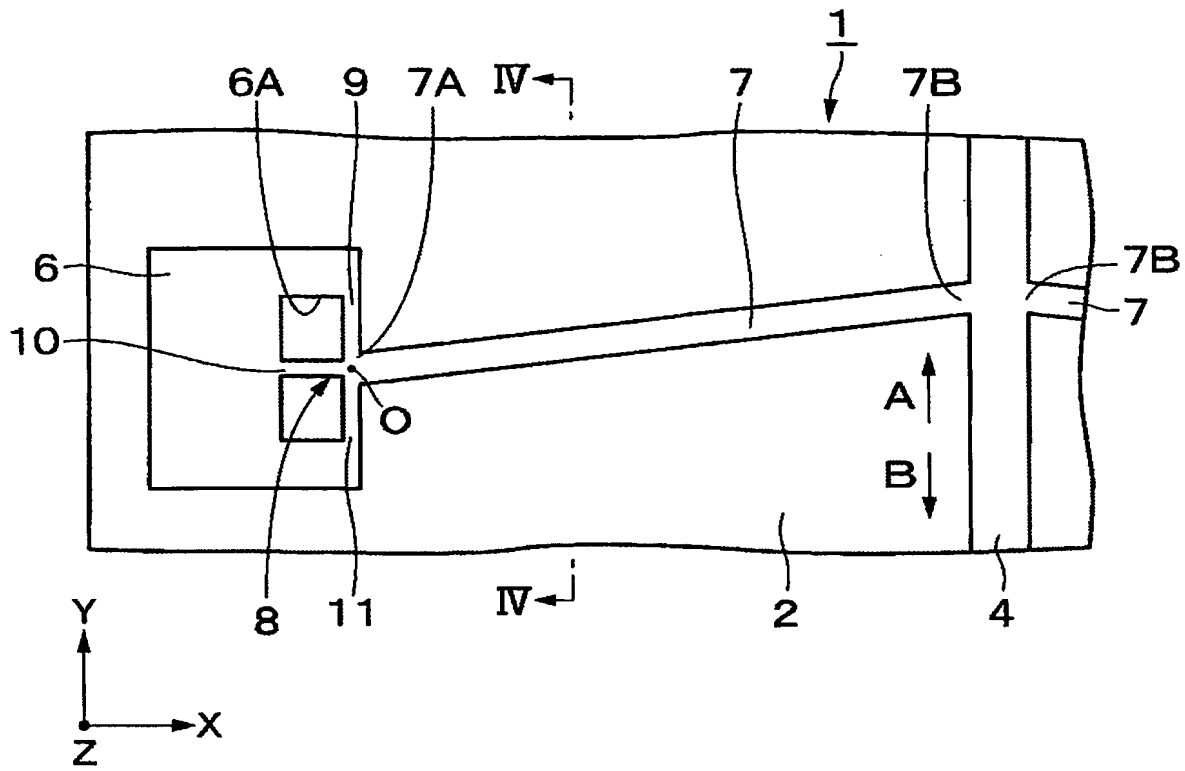
【書類名】 図面  
【図 1】



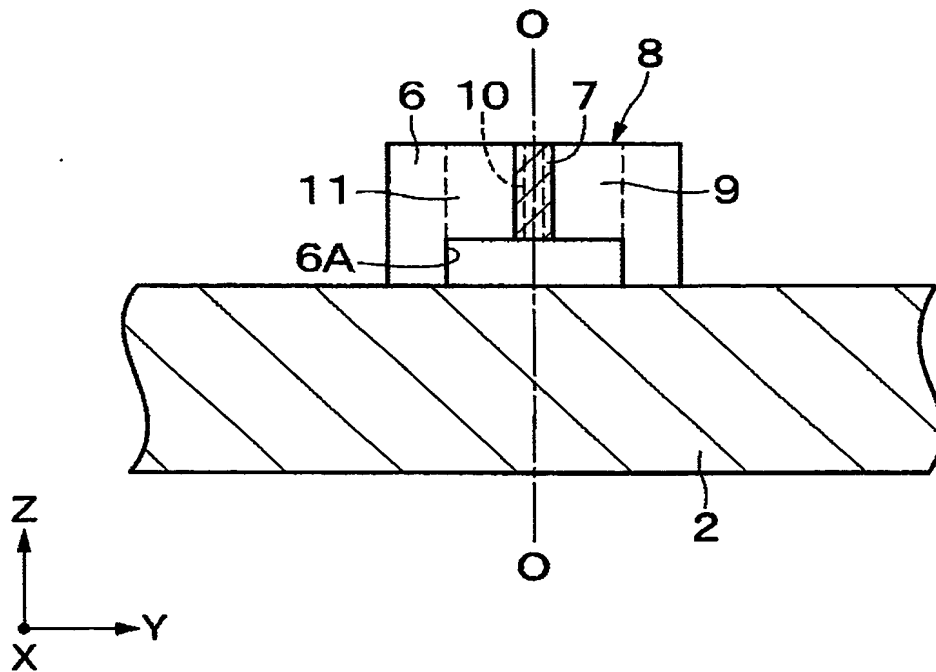
【図 2】



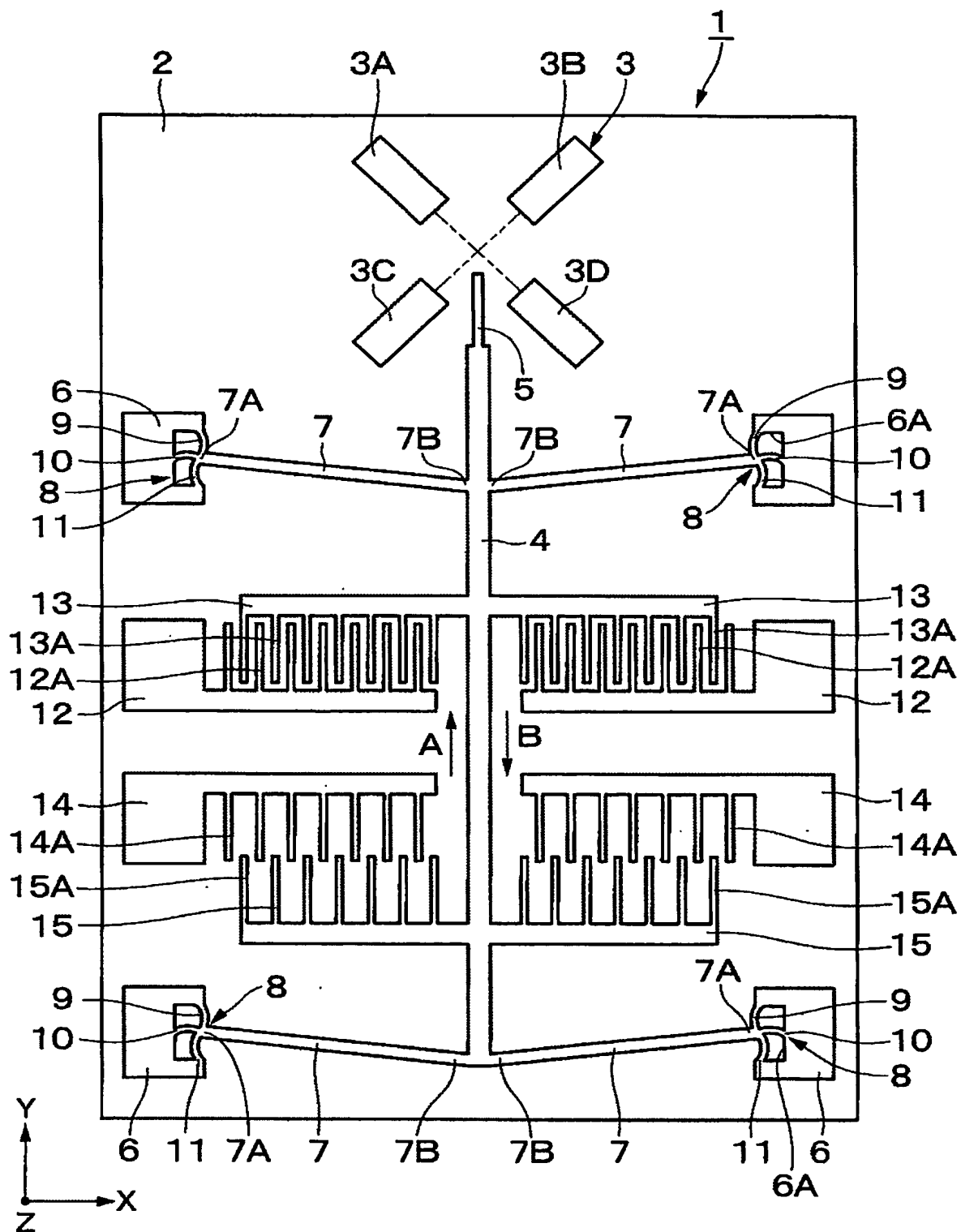
【図 3】

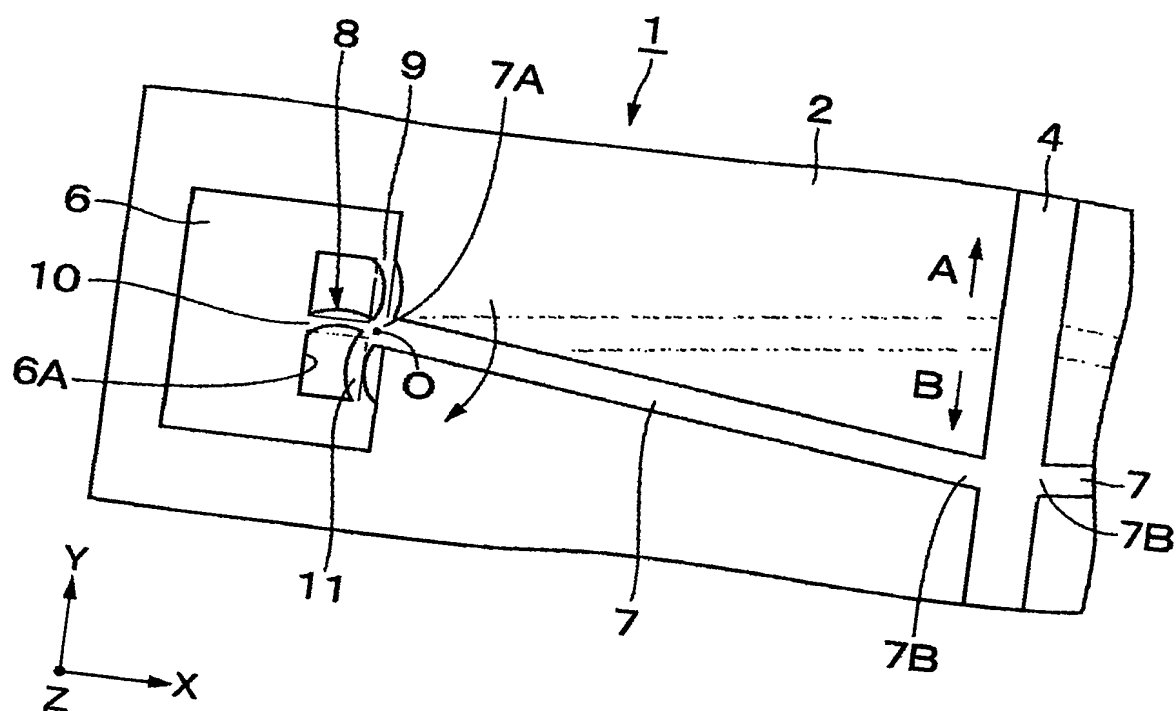


【図 4】

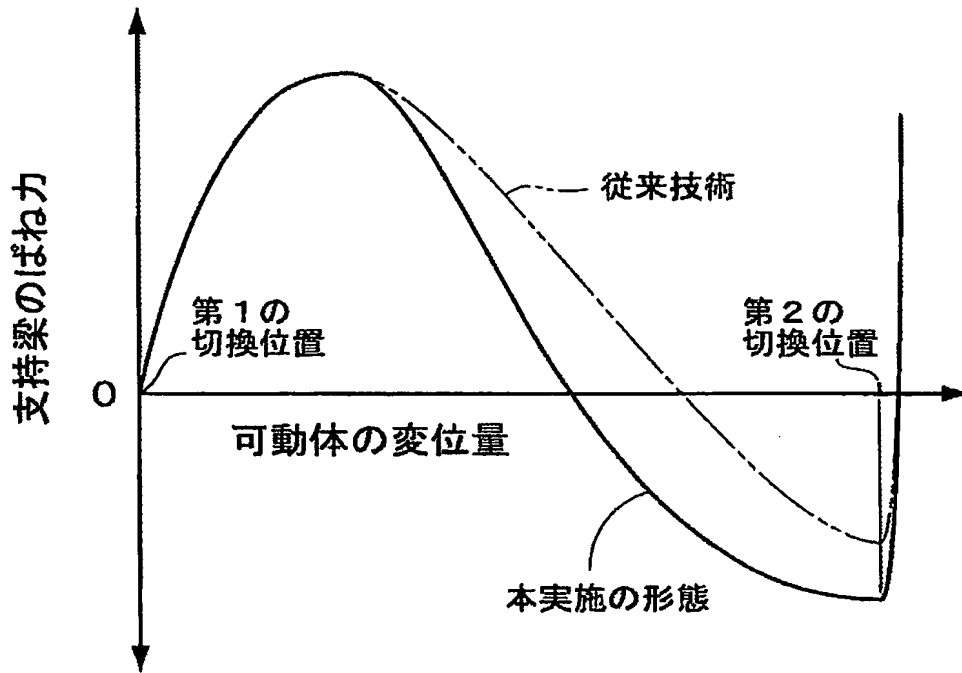


【図 5】

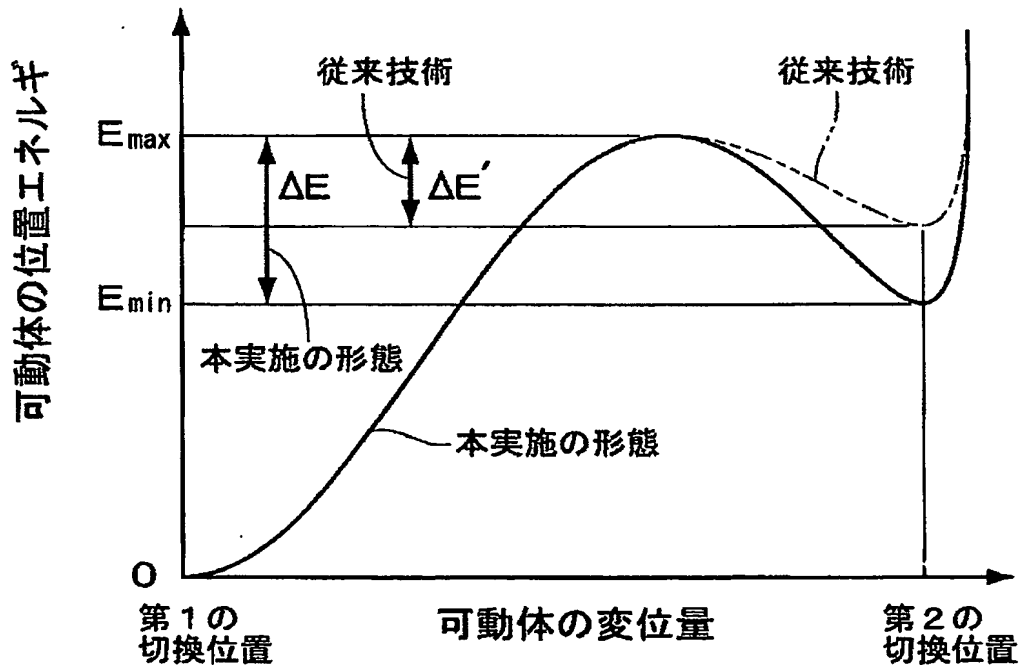




【図 7】

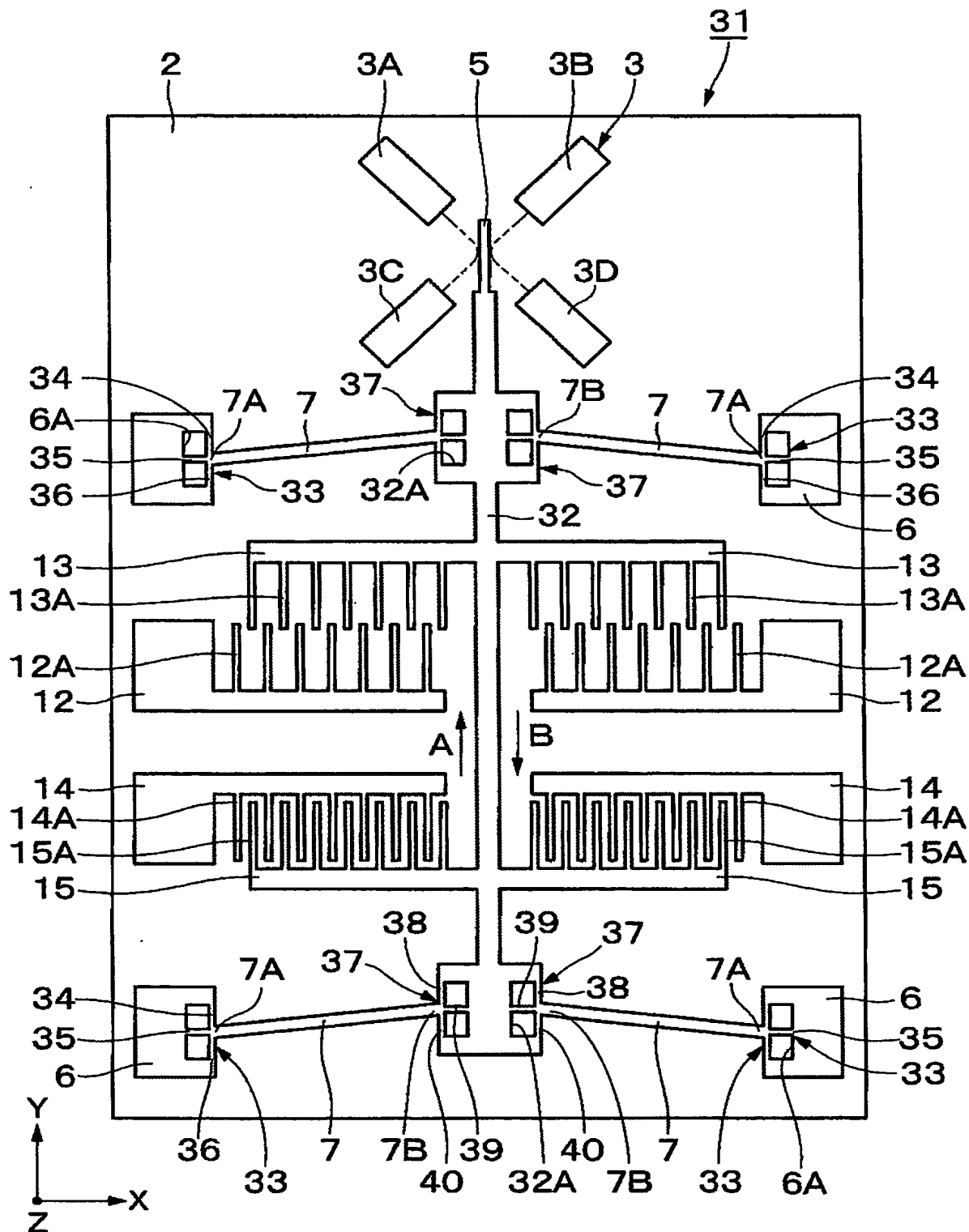


【図 8】



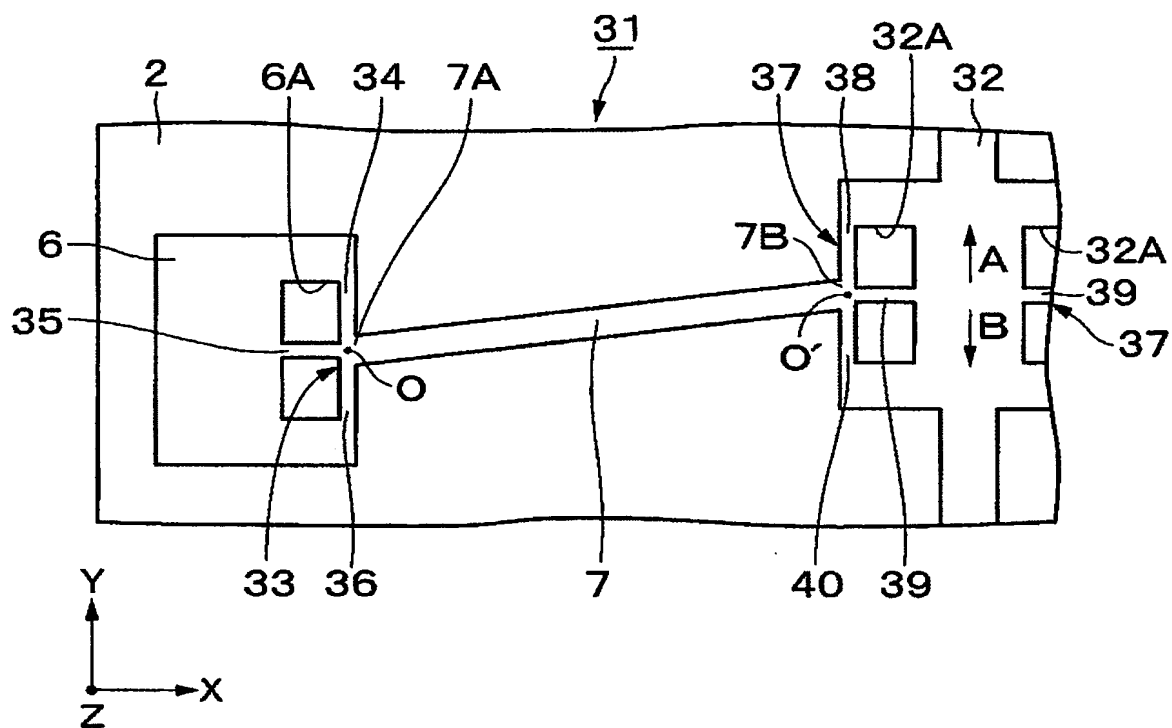


【図10】

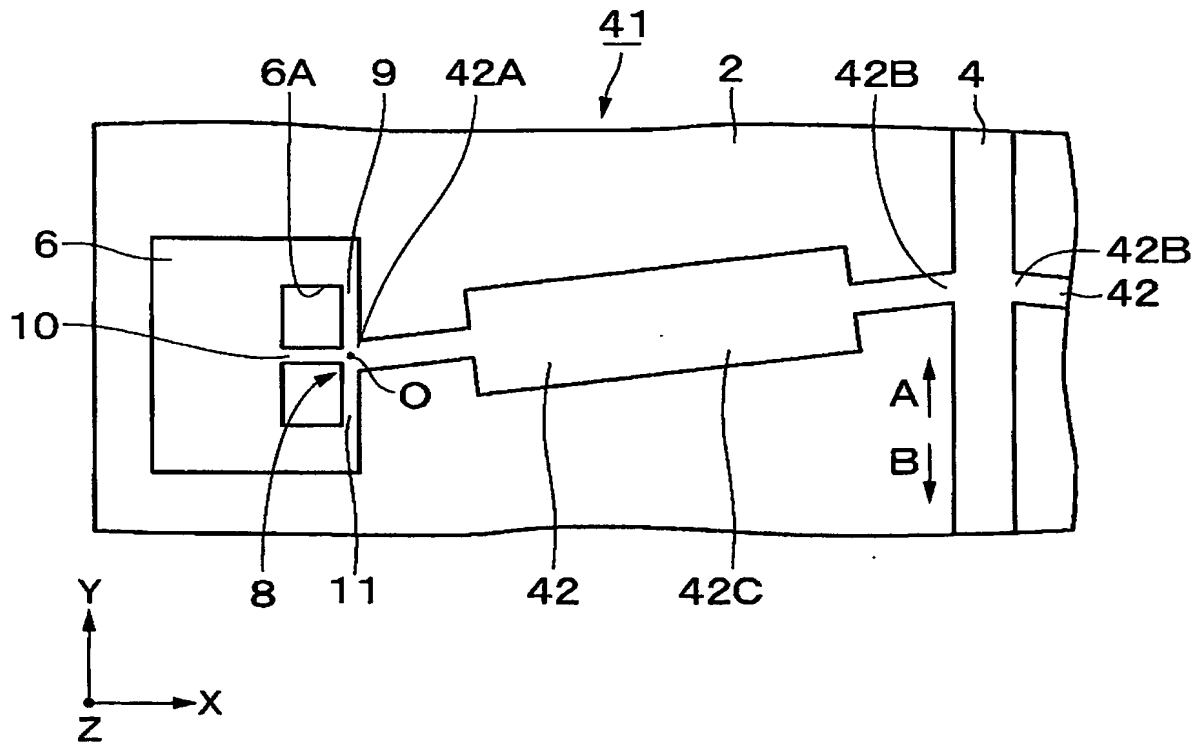




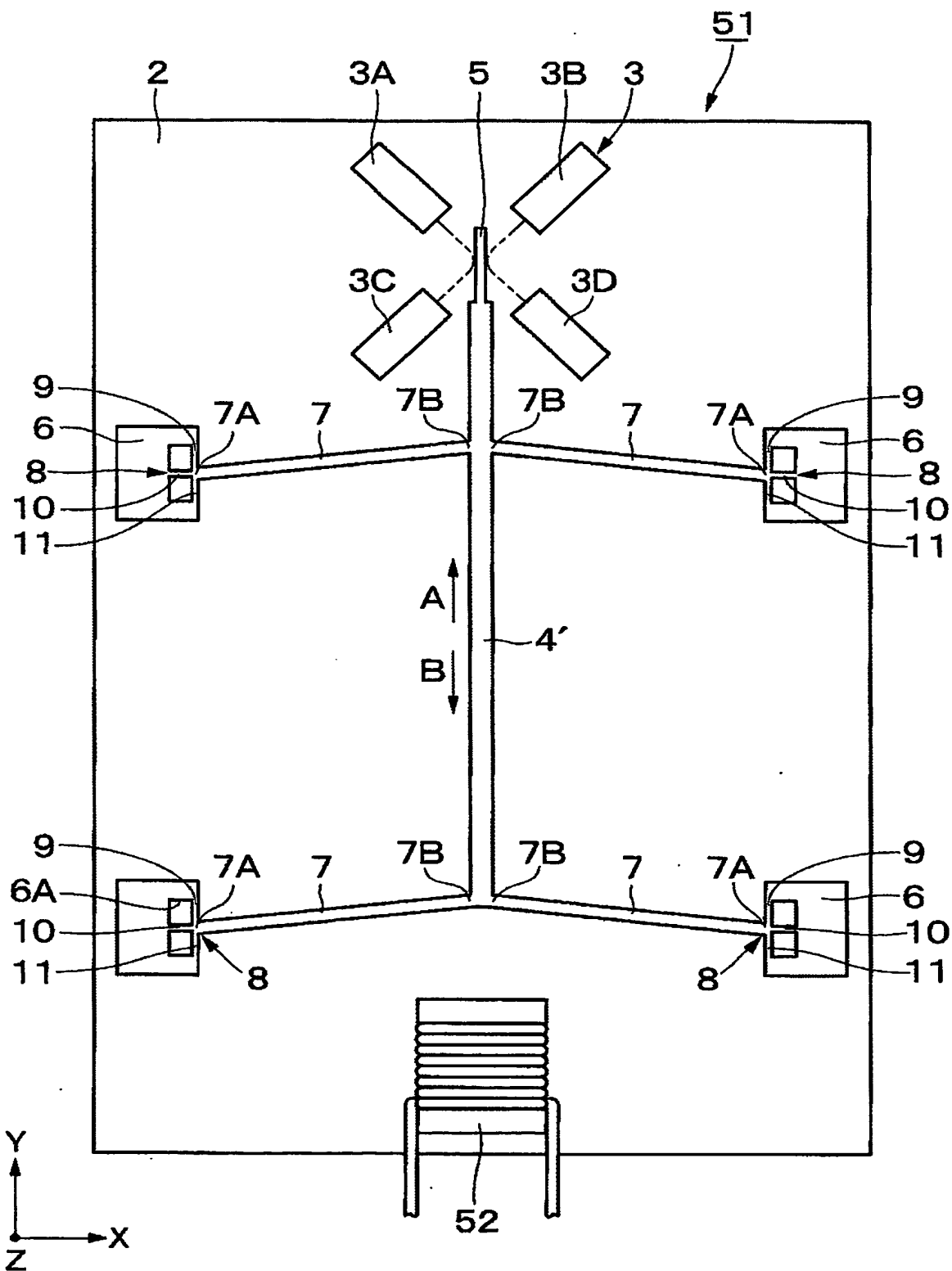
【図 11】



【図 12】



【図13】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 支持梁の連結部位を回転支持部として構成することにより、可動体を各切換位置に安定的に保持できる構成とし、信頼性を高めるようにする。

【解決手段】 可動体 4 を、基板 2、各固定部 6、回転支持部 8、支持梁 7 により Y 軸方向に変位可能に支持し、可動体 4 を第 1、第 2 の切換位置の間で変位させる。また、回転支持部 8 は、放射状に配置した腕部 9、10、11 により支持梁 7 を回転可能に支持し、可動体 4 が変位するときには、端部 7A が大きく屈曲しなくても、支持梁 7 が回転できるようにする。これにより、第 1、第 2 の切換位置の間で可動体 4 の位置エネルギーの障壁  $\Delta E$  を大きく設定でき、電極 12～15 への給電を停止した状態でも、可動体 4 を各切換位置に安定的に保持することができる。また、可動体 4 が X 軸方向に位置ずれするのを腕部 10 により防止することができる。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

|         |               |
|---------|---------------|
| 特許出願の番号 | 特願2003-291665 |
| 受付番号    | 50301332197   |
| 書類名     | 特許願           |
| 担当官     | 第一担当上席 0090   |
| 作成日     | 平成15年 8月12日   |

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成15年 8月11日

特願 2 0 0 3 - 2 9 1 6 6 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 6 2 3 1 ]

|          |                          |
|----------|--------------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 0 年 8 月 2 8 日      |
| [変更理由]   | 新規登録                     |
| 住 所      | 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号 |
| 氏 名      | 株式会社村田製作所                |